



① BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 44 292 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
H 02 N 1/00
G 01 P 9/04
G 01 B 7/02
G 01 D 5/24
G 01 P 3/12

⑰ Aktenzeichen: 197 44 292.7
⑳ Anmeldetag: 7. 10. 97
㉑ Offenlegungstag: 23. 4. 98

DE 197 44 292 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:
296 17 410. 6 07. 10. 96

⑦① Anmelder:
Institut für Mikro- und Informationstechnik
Hahn-Schickard-Gesellschaft, 78052
Villingen-Schwenningen, DE

⑦④ Vertreter:
Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 81479
München

⑦② Erfinder:
Geiger, Wolfram, 78078 Niedereschach, DE;
Folkmer, Bernd, 78050 Villingen-Schwenningen,
DE; Lang, Walter, Dr., 78050
Villingen-Schwenningen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Elektrostatischer Aktor und Sensor

⑤⑦ Ein elektrostatischer Aktor bzw. Sensor umfaßt eine erste Kammelektrode und eine bezüglich der ersten Kammelektrode beweglich angeordnete zweite Kammelektrode mit Kammfingern, wobei die Kammfinger der ersten und der zweiten Kammelektrode in einer ersten Richtung nebeneinander angeordnet sind, parallel zu einer zweiten Richtung zeigen und sich in einer Ebene erstrecken, die durch die zweite und die dritte Richtung gebildet ist, wobei die Kammfinger der ersten und der zweiten Kammelektrode in der dritten Richtung derart nicht vollständig überlappend angeordnet sind, daß zum Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der ersten und der zweiten Kammelektrode eine Sollauslenkung der zweiten Kammelektrode bezüglich der ersten Kammelektrode in der dritten Richtung erreichbar ist, bzw. daß eine Sollauslenkung der zweiten Kammelektrode bezüglich der ersten Kammelektrode in der dritten Richtung zu einer erwünschten Veränderung der elektrischen Kapazität des elektrostatischen Sensors führt.

DE 197 44 292 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Aktoren und Sensoren und insbesondere auf elektrostatische Aktoren und Sensoren mit Stellweg bzw. sensitiver Achse senkrecht zur Hauptebene eines Halbleitersubstrats.

Elektrostatische Aktoren mit Stellweg senkrecht zu einer Oberfläche eines Substrats, in bzw. auf dem die selben gebildet sind, und kapazitive Sensoren mit sensitiver Achse in dieser Richtung wurden bisher durch Plattenkondensatoren realisiert, wobei die Plattenkondensatoren parallel zur Substratoberfläche angeordnet sind, so sind bei solchen elektrostatischen Aktoren bzw. Sensoren die beiden Kondensatorplatten ebenso in der xy-Ebene angeordnet. Eine Veränderung des Kondensatorplattenabstands in der z-Richtung führt zu einer Änderung der Kapazität dieser Anordnung. Ein solches Bauelement wird ein Sensor genannt, da es aufgrund einer Verschiebung der Kondensatorplatten ein Meßsignal ausgibt. Bei einem Aktor wird zwischen den Kondensatorplatten eine Spannung angelegt, wodurch sich der Plattenabstand verändert, wenn zumindest eine der beiden Kondensatorplatten bezüglich der anderen beweglich angeordnet ist. Durch geeignete Wechsellspannungen kann eine Schwingung der beweglichen Kondensatorelektrode bezüglich der festen Kondensatorplatte erzeugt werden.

Nachteile dieser bekannten elektrostatischen Aktoren bzw. Sensoren mit Kondensatorplatten parallel zur Substratoberfläche sind vor allem kurze Verfahrwege, nichtlineares Verhalten und eingeschränkte Designmöglichkeiten.

Weiterhin bekannt sind mikromechanisch gefertigte Kammantriebe, wobei ein beispielhafter mikromechanisch gefertigter Kammantrieb oder Combdrive in Fig. 6A beispielhaft dargestellt ist. Fig. 6B zeigt einen Schnitt entlang der Linie A-B von 6B. Links unten in den Fig. 6A und 6B sowie in den meisten weiteren Fig. dieser Anmeldung ist ein dreidimensionales Koordinatenkreuz eingezeichnet, das eine erste Richtung (x), eine zweite Richtung (y) und eine dritte Richtung (z) aufweist, wobei die drei Richtungen aufeinander senkrecht stehen.

Der bekannte elektrostatische Aktor in Fig. 6A umfaßt eine erste Kammelektrode 100 und eine zweite Kammelektrode 110. Die erste Kammelektrode weist Kammfinger 102 auf, während die zweite Kammelektrode Kammfinger 104 umfaßt. Zwischen die beiden Kammelektroden 100 und 110 wird eine Spannung U angelegt, damit zwischen den Kammfingern 102 der ersten Kammelektrode 100 und den Kammfingern 104 der zweiten Kammelektrode 110 ein inhomogenes Feld vorhanden ist, was dazu führt, daß die Kammelektrode 110 gegen die Kraft einer Rückholfeder 120 zu der festangebrachten ersten Kammelektrode 100 hingezogen wird. Diese Situation ist durch einen Pfeil 122 symbolisch dargestellt.

Wie es in Fig. 6A zu sehen ist, zeigen die Kammfinger der zweiten Elektrode 110 in die y-Richtung während die Kammfinger der ersten Kammelektrode 100 ebenfalls parallel zur y-Achse ausgerichtet sind, jedoch zu der y-Richtung des Koordinatenkreuzes entgegengesetzt zeigen. Die Finger 102 und 104 können als Quader ausgeführt sein, deren Seitenoberflächen parallel zur yz-Ebene sind. Wie es in Fig. 6A gezeigt ist, überlappen sich die Finger der ersten Kammelektrode und die Finger der zweiten Kammelektrode teilweise in der y-Richtung.

Fig. 6B zeigt einen Querschnitt entlang der Linie A-B des in Fig. 6A dargestellten elektrostatischen Aktors. Es ist zu sehen, daß bei dem elektrostatischen Aktor gemäß dem Stand der Technik eine im wesentlichen vollständige Überlappung der Kammfinger 102 der ersten Kammelektrode

und der Kammfinger 104 der zweiten Kammelektrode 110 in der z-Richtung vorhanden ist. Die Teile der Kammelektroden 100 und 110, an denen die Kammfinger 102 bzw. 104 befestigt sind, sind in Fig. 6B aufgrund der Schnittdarstellung nicht gezeigt. In Fig. 6B ist lediglich eine Substruktur 24 symbolisch dargestellt, an der beispielsweise hinter bzw. vor der Zeichenebene bezüglich Fig. 6B die Teile der Kammelektroden 100, 110 befestigt sind, an denen die jeweiligen Finger angebracht sind.

Ein typischer bekannter Kammaktor, wie er in Fig. 6A und in Fig. 6B gezeigt ist, zeichnet sich dadurch aus, daß die beiden gegenüberstehenden Kämme in z-Richtung dieselbe Ausdehnung aufweisen und auf derselben Höhe angebracht sind. In Richtung des Stellweges, d. h. in y-Richtung, sind die Kämme gegeneinander versetzt. Der Stellweg liegt in der Hauptausdehnungsebene des Substrats 124, wodurch ein üblicher Kammantrieb ein im wesentlichen planares Bauelement ist. Die Überlapplänge in der y-Richtung, d. h. in der Richtung, in der die Finger zeigen, muß hierbei kleiner als die Länge der einzelnen Finger sein, damit eine elektrostatische Kraft und damit eine Auslenkung erzeugt werden kann. Kräfte in z-Richtung, die senkrecht zur Substrathauptoberfläche des Aktors wirken, werden in der Literatur als Störeffekt (Levitation) zusammen mit entsprechenden Kompensationsmaßnahmen beschrieben, wie es in W. C. Tang, M. G. Lim und R. T. Howe, "Electrostatic Comb Drive Levitation and Control Method", Journal of Microelectromechanical Systems, Bd. 1, Nr. 4, Dezember 1992, ausgeführt ist.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, elektrostatische Aktoren bzw. Sensoren zu schaffen, deren Sollauslenkung bzw. sensitive Achse nicht in der Ebene liegt, die durch die Kammfinger aufgespannt ist.

Diese Aufgabe wird durch einen elektrostatischen Aktor gemäß Anspruch 1 und durch einen elektrostatischen Sensor gemäß Anspruch 2 gelöst.

Elektrostatische Sensoren und Aktoren gemäß der vorliegenden Erfindung dienen zur Detektion von Bewegungen bzw. zur Erzeugung von Kräften und Stellwegen senkrecht zu der Ebene, die durch die parallel angeordneten Finger und die "Zeigerichtung" der Finger definiert ist. Solche erfindungsgemäßen Strukturen bestehen aus zwei gegenüberliegenden ineinandergreifenden Kämmen, die senkrecht zur Hauptausdehnungsebene gegeneinander versetzt angeordnet sind, so daß durch Anlegen einer Spannung an die beiden Kämmen aufgrund des inhomogenen elektrischen Feldes eine Kraft in der Richtung resultiert, die senkrecht zur besagten Ebene ist. Bewegungen in dieser Richtung können kapazitiv gemessen werden.

Bei einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung greifen die Kammfinger der beiden Kammelektroden bezüglich der Richtung, in die bzw. gegen die die Finger zeigen, im wesentlichen vollständig ineinander ein, wodurch Störkräfte in dieser Richtung im wesentlichen eliminiert sind. Aktoren bzw. Sensoren gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel erlauben die Erzeugung bzw. Detektion von im wesentlichen linearen Bewegungen der Kammelektroden zueinander senkrecht zur Substrathauptebene.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel sind die Kammfinger der Kammelektroden derart angeordnet, daß parallel zur Fingerzeigerichtung ein inhomogenes elektrisches Feld vorhanden ist, wodurch zusätzlich zur vertikalen Auslenkung auch eine parallel zur Substrathauptoberfläche gerichtete Auslenkung zwischen den Kammelektroden erzeugbar bzw. detektierbar ist. Unter Verwendung geeigneter Federaufhängungen für die bewegliche Kammelektrode ist somit eine zweiachsige Detektion bzw. Bewegungserzeugung möglich. Diese Bewegung wird im allgemeinen Fall eine Ellipse sein, mit den Grenzfällen eines Kreises bzw. einer Ge-

rade wie beim ersten Ausführungsbeispiel.

Außerdem ist es nun möglich mit geeigneter Elektronik gleichzeitig Auslenkungen zu erzeugen und zu erfassen, und zwar lineare oder ellipsenförmige Auslenkungen senkrecht zu der Hauptebene des Substrats, in bzw. auf dem das erfindungsgemäße Bauelement realisiert ist.

Einige Vorteile der erfindungsgemäßen Aktoren und Sensoren gegenüber bekannten Elementen mit Kondensatorplatten liegen in einem erweiterten Linearitätsbereich, langen Verfahrwegen und einfacheren Herstellungsverfahren.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detaillierter erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf einen Aktor bzw. Sensor gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2A-2D einen Schnitt entlang der Linie A-B von **Fig. 1** für verschiedene Ausgestaltungen des Aktors bzw. Sensors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 3A-3D eine Sequenzdarstellung für ein beispielhaftes Herstellungsverfahren, um ein erfindungsgemäßes Element zu erhalten;

Fig. 4 ein Anwendungsbeispiel für einen elektrostatischen Aktor gemäß der vorliegenden Erfindung bei einer Mikropumpe; und

Fig. 5A-5C eine Draufsicht bzw. zwei Schnitte eines Aktors bzw. Sensors gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6A und 6B eine Draufsicht bzw. einen Schnitt durch einen herkömmlichen Aktor mit Sollauslenkung in y -Richtung.

Fig. 1 zeigt einen elektrostatischen Aktor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel, der eine erste feste Kammelektrode **10** und eine gegenüber der ersten Kammelektrode **10** bewegliche zweite Kammelektrode **12** umfaßt. Die Kammelektrode **10** besteht aus einem Halteabschnitt **10a**, an dem Kammfinger **10b** angebracht sind. Analog dazu umfaßt die zweite Kammelektrode **12** einen Halteabschnitt **12a** sowie Kammfinger **10b**. Aus Übersichtlichkeitsgründen ist der elektrostatische Aktor aus **Fig. 1** im wesentlichen übereinstimmend mit einem Koordinatenkreuz **14** gezeichnet, das eine erste Richtung (x) und eine zweite Richtung (y) sowie eine dritte Richtung (z) aufweist, wobei alle drei Richtungen aufeinander senkrecht stehen, wie es bei kartesischen Koordinatensystemen der Fall ist.

Wie es in **Fig. 1** zu sehen ist, zeigen die Kammfinger **12b** der zweiten Kammelektrode in die y -Richtung, während die Kammfinger **10b** der ersten Kammelektrode in eine Richtung zeigen, die der y -Richtung genau entgegengesetzt ist, d. h. in die negative y -Richtung. Die Kammfinger **10b** und **12b** der ersten bzw. zweiten Kammelektrode zeigen somit in Richtungen, die parallel zur y -Achse sind. Wie es ebenfalls aus den in **Fig. 2A-2D** gezeigten Schnitten entlang der Linie A-B von **Fig. 1** ersichtlich ist, sind die Elektrodenfinger üblicherweise Quader mit großen Oberflächen parallel zur yz -Ebene und kleinen Oberflächen parallel zur yx -Ebene, welche auch die Hauptebene eines Substrats ist, in der der Aktor bzw. Sensor vorzugsweise ausgebildet ist. Wie es aus **Fig. 1** ferner ersichtlich ist, überlappen sich die Finger **10b** und **12b** der ersten Kammelektrode **10** bzw. der zweiten Kammelektrode **12** beim ersten Ausführungsbeispiel im wesentlichen vollständig in der y -Richtung, wodurch ein nahezu homogenes elektrisches Feld in y -Richtung zwischen den beiden Kammelektroden **10** und **12** vorhanden ist, was dazu führt, daß im wesentlichen keine Auslenkung in y -Richtung, d. h. in der xy -Ebene, stattfindet. Hier sei angemerkt, daß **Fig. 1** eine Draufsicht ist, weshalb aus **Fig. 1** nicht sichtbar ist, daß die Kammelektrode **10** auf einer anderen Höhe als

die Kammelektrode **12** ausgebildet ist. Dieser Sachverhalt ist jedoch aus den **Fig. 2A-2D** deutlich erkennbar.

Die vollständige Überlappung in y -Richtung stellt einen Spezialfall eines erfindungsgemäßen Aktors bzw. Sensors dar, um die Störkräfte in y -Richtung im wesentlichen zu eliminieren.

Fig. 2A zeigt einen Schnitt durch den Sensor bzw. Aktor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel aus **Fig. 1**. Die erste Kammelektrode **10** ist bei diesem Beispiel die feste Kammelektrode, wie es durch die Schraffur über der ersten Kammelektrode **10** dargestellt ist. Dieser Sachverhalt wird durch einen Trägerabschnitt **10c** wiedergegeben, der im wesentlichen parallel zu der xy -Ebene angeordnet ist und eine Dicke aufweist, die sich in z -Richtung erstreckt. Aus der **Fig. 1** zusammen mit der **Fig. 2A** ist erkennbar, daß die Kammfinger **10b** der ersten Kammelektrode gewissermaßen von zwei Seiten gehalten werden. Sie werden zum einen durch den Trägerabschnitt **10c** in der xy -Ebene und zum anderen durch den Halteabschnitt **10a** in der xz -Ebene gehalten. Die Kammfinger **12b** werden dagegen lediglich durch den Halteabschnitt **12a** gehalten, der sich in der yz -Ebene erstreckt, weshalb er in der Schnittdarstellung in **Fig. 2A** nicht sichtbar ist. Aus **Fig. 2A** geht ferner hervor, daß sich die Kammfinger **12b** und **10b** teilweise überlappen, wobei die Länge der Kammfinger nicht unbedingt gleich sein muß, sondern auch unterschiedlich sein kann. Das Anlegen einer Spannung U zwischen der ersten Kammelektrode **10** und der zweiten Kammelektrode **12** wird dazu führen, daß die Kammfinger **12b** gemeinsam tiefer in die Kammfinger **10b** eintauchen, als es in **Fig. 2A** gezeigt ist, die ja ebenso wie die **Fig. 2B-2D** Situationen zeigen, bei denen keine Spannung angelegt ist.

Fig. 2B zeigt eine weitere Schnittdarstellung entlang der Linie A-B des elektrostatischen Aktors bzw. Sensors von **Fig. 1**, wobei jedoch die Kammfinger **12b** und **10b** im wesentlichen nicht überlappen. Dennoch ist zwischen den beiden Kammelektroden **10** und **12** ein inhomogenes elektrostatisches Feld vorhanden, wenn eine Spannung angelegt wird, was dazu führt, daß die Kammfinger **12b** zu den Kammfingern der festen Kammelektrode **10** hinbewegt werden können. Dieser Fall ist jedoch als Extremfall anzusehen, da die Wirkung einer elektrostatischen Kraft bei teilweiser Überlappung stärker sein wird.

Fig. 2C zeigt einen Fall, der **Fig. 2A** ähnelt, wobei die Kammfinger **12b** und **10b** im Ruhezustand teilweise in z -Richtung überlappend dargestellt sind. Im Unterschied zu **Fig. 2A** ist jedoch der Trägerabschnitt **10c** aus technologischen Gründen nicht vorhanden. Daß heißt, daß die feste Elektrode **10** lediglich durch den Halteabschnitt **10a** gehalten wird, der sich in der xz -Ebene erstreckt und in **Fig. 2C** gewissermaßen hinter der Zeichenebene angeordnet ist. Der Halteabschnitt **12a**, der die Elektrodenfinger **12b** der zweiten Kammelektrode hält, befindet sich ebenfalls nicht in der Zeichenebene, weshalb auch er in der Schnittdarstellung nicht dargestellt ist.

Fig. 2D zeigt einen weiteren Extremfall für die Ausgestaltung des in **Fig. 1** in Draufsicht dargestellten Kammaktors bzw. Kammsensors. Hier sind die Kammfinger **12b** deutlich kleiner bezüglich der z -Richtung dimensioniert als die Kammfinger **10b**. Dadurch, daß sie jedoch bezüglich der Kammfinger **10b** in der oberen Hälfte derselben angeordnet sind und sich dennoch in dieselben hinein erstrecken, ist wieder ein inhomogenes elektrostatisches Feld zwischen den Kammelektroden **10** und **12** vorhanden, wodurch eine Kraft erzeugt bzw. eine Kapazitätsänderung detektiert werden kann.

Aus den **Fig. 2A bis 2D** ist somit ersichtlich, daß die Elektrodenfinger nicht vollständig überlappend angeordnet sein

dürfen, da sonst im wesentlichen keine Kraft in z-Richtung auftritt. "Nicht vollständig überlappend" bedeutet daher einerseits kein Ineinandergreifen (Fig. 2B) und andererseits ein vollständiges Ineinandergreifen (Fig. 2D), wobei in diesem Falle jedoch die ineinandergreifenden Finger unterschiedliche Längen haben und daher nicht vollständig überlappen, weshalb trotz vollständigem Ineinandergreifen der Finger mit unterschiedlicher Länge ein inhomogenes elektrisches Feld zwischen denselben vorhanden ist.

Fig. 3A-3D zeigen eine Sequenz zur Veranschaulichung eines möglichen Herstellungsverfahrens, um einen elektrostatischen Aktor bzw. Sensor gemäß der vorliegenden Erfindung zu produzieren. Das in den Fig. 3A-3D dargestellte mikromechanische Herstellungsverfahren basiert auf einem SOI-Wafer und Plasmaätzen. Fig. 3A zeigt ein Si-Substrat 30, auf dem ein Oxid 32 aufgebracht ist, über dem sich wiederum ein Siliziumfilm 34 erstreckt, der durch Oxidieren mit einem weiteren Oxid 36 bedeckt wird, über dem ein Fotolack 38 aufgebracht ist. Das Substrat ist somit ein SOI-Wafer, welcher zunächst durch Standardprozeßschritte mit Leiterbahnen und Bondpads versehen wird (nicht dargestellt). Anschließend wird das zweite Oxid 36 als Oxidmaske aufgebracht und zweimal strukturiert, wonach eine zusätzliche Fotolackmaske 38 in der gewünschten Form aufgebracht wird. Über der zusätzlichen Fotolackmaske 38 wird der Siliziumfilm 34 anisotrop geätzt, um zunächst zwei Gräben 40a und 40b im Siliziumfilm 34 zu erzeugen. Anschließend wird die Fotolackmaske 38 wieder entfernt, wonach das Silizium erneut anisotrop geätzt wird, um die Gräben 40a und 40b zu vertiefen und weitere Gräben 42a und 42b an den Stellen zu schaffen, an denen kein Oxid 36 vorhanden ist. Auf die in Fig. 3B entstandene Struktur wird in Fig. 3C Oxid abgeschieden, wonach das Oxid anisotrop geätzt wird, und anschließend das Silizium erst anisotrop und dann isotrop geätzt wird. Dies führt zu einer Verbreiterung der Gräben 40a, 40b, 42a und 42b ab der Breite, die sie vor der Oxidabscheidung hatten, innerhalb des Siliziumfilms 34, wobei sich die Gräben 40a, 40b, 42a und 42b oberhalb des Oxids 32 vereinigen. Abschließend wird eine anisotrope Oxidätzung, eine anisotrope Siliziumätzung und dann eine anisotrope Oxidätzung durchgeführt, um die in Fig. 3D gezeigte Endstruktur zu erhalten. Lediglich beispielhaft sind zwei Kammfinger 12b der zweiten Kammelektrode sowie ein Kammfinger 10b der ersten Kammelektrode gezeigt, welche sich in z-Richtung teilweise überlappen. Die erste Elektrode 10b wird lediglich lateral gehalten und nicht durch einen Trägerabschnitt 10c, weshalb die in Fig. 3D gezeigte Situation am Ende des Herstellungsverfahrens der in Fig. 2C gezeigten Anordnung entsprechen würde. An dieser Stelle sei gesagt, daß die feste bzw. bewegliche Elektrode beliebig ist, d. h., daß auch die Elektrode 12 fest sein kann, während die Elektrode 10 beweglich ist. Selbstverständlich können auch beide Elektroden beweglich gehalten sein. Für die Erfindung ist es nur wesentlich, daß eine der Elektroden bezüglich der anderen beweglich ist.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß der in den Fig. 3A-3D gezeigte Prozeßablauf lediglich beispielhaft ist. Derselbe muß ferner nicht unbedingt mit einem SOI-Wafer durchgeführt werden. Werden "normale" Wafer verwendet, wird am Ende des Prozesses ganzflächig oxidiert und metallisiert, wie es zum Beispiel mit dem SCREAM-Prozeß möglich ist. Dadurch werden Kontaktierungsmöglichkeiten hergestellt. Die Isolierung von Gebieten erfolgt durch umlaufende Gräben, an deren Fuß der Metallfilm abreißt. Für Fachleute sind viele Variationen der dargestellten Prozesse denkbar.

Das in den Fig. 3A und 3D gezeigte Verfahren dient zur Strukturierung des Aktors bzw. Sensor aus im wesentlichen

einem Substrat. Weiterhin ist eine Strukturierung aus im wesentlichen zwei Substraten unter Verwendung einer geeigneten Füge-technik möglich. Zwei Substrate werden dabei strukturiert, wie z. B. durch mikromechanisches KOH-Ätzen oder Trockenätzen, durch Funkencorrosion, Spritzguß, Stanzen, Sägen, Schneiden oder Laser-Trennverfahren, und anschließend so zusammengefügt, daß zwei ineinandergreifende Kämme entstehen.

Ein sequentielles Aufbringen und Strukturieren von Schichten, beispielsweise unter Verwendung einer konventioneller Oberflächen-Mikromechanik sowie Abformtechniken unter Verwendung von Tiefenlithographie und Galvanik, LIGA oder Spritzguß, können ebenfalls verwendet werden, um die erfindungsgemäßen vertikalen Combridives herzustellen.

Für die Aktoren bzw. Sensoren gemäß der vorliegenden Erfindung eröffnet sich eine Vielzahl von möglichen Anwendungsformen, und zwar alle Anwendungen, bei denen die Erzeugung bzw. Erfassung von Sollauslenkungen in der Achse senkrecht zu einer Hauptsubstratoberfläche erwünscht ist. Dabei ist zunächst an den Einsatz von Sensoren in Beschleunigungssensoren zu denken, um eine Beschleunigung in z-Richtung zu messen. Der Sensor ist insbesondere interessant für mehrachsige Beschleunigungssensoren.

Fig. 4 zeigt eine Einsatzmöglichkeit eines Aktors bei einer Mikropumpe. Ist die bewegliche Kammelektrode 12 mit einer Ventilmembran 42 verbunden, so kann durch Hinzufügen einer Ventileinheit vorzugsweise auf der dem Kamm 12b gegenüberliegenden Seite der Membran 42 eine Membranpumpe hergestellt werden. Das in Fig. 4 gezeigte Beispiel umfaßt zwei passive Rückschlagventile 44a und 44b, die einen Aus- bzw. Eintritt eines Pumpfluids in eine Pumpkammer 46 ermöglichen. Durch Anlegen einer Spannung zwischen der ersten Kammelektrode 10 und der zweiten Kammelektrode 12 kann das Volumen der Pumpkammer 46 erhöht werden, wodurch durch das passive Rückschlagventil 44b Fluid in die Pumpkammer 46 einfließen kann. Wird die Spannung wieder abgeklemt, so wird das Volumen der Pumpkammer 46 wieder in den in Fig. 4 gezeigten Zustand zurückkehren, weshalb das gerade eben eingetretene Pumpfluid über das Austrittsventil 44a wieder ausgestoßen wird.

Ähnlich wie bei der in Fig. 4 gezeigten Pumpe ist bei einem Mikroventil ein Kamm mit einer Membran, einer Klappe oder einer anderen Struktur verbunden, die durch den Kammaktor bewegt wird und dadurch eine Ventilöffnung schließt oder öffnet. Vertikale Kammantriebe bzw. Kammsensoren können ebenfalls zur Erzeugung einer Schwingung bzw. zur Messung einer Schwingung von resonanten Sensoren, und zur Messung von Kraft, Druck, Temperatur bzw. Winkelgeschwindigkeit/Drehrate eingesetzt werden. Insbesondere können vertikale Kamminstrukturen in Coriolis-Drehratensensoren eingesetzt werden, wodurch eine Vielzahl von neuen Strukturen und insbesondere eine Realisierung von mehrachsigen Sensoren erreichbar ist. Bei nicht vollständig überlappenden Kammfingern in y-Richtung, wie es in Verbindung mit dem zweiten Ausführungsbeispiel weiter hinten beschrieben wird, können Drehbewegungen mit festem, d. h. zeitlich konstantem, Drehimpuls erzeugt werden.

Aktoren bzw. Sensoren gemäß der vorliegenden Erfindung können ebenfalls für mikromechanische Schalter und Relais eingesetzt werden. Dadurch sind größere Verfahrene in z-Richtung möglich. Das Bereitstellen von Verfahrenen in der z-Richtung ermöglicht den Einsatz einfacher Beschichtungsverfahren für die Relais- bzw. Schalterkontakte. Der Einsatz mikromechanischer Aktoren, die Stellschritte senkrecht zur Substratoberfläche erlauben, ist ferner

besonders vorteilhaft bei optischen Baueilen, insbesondere in Zusammenhang mit mikrooptischen Licht- und Wellenleitern parallel zur Substratoberfläche. Shutter und verschiedene Schalter und Spiegel sind damit den Geometrien mikrooptischer Lichtleiter angepaßt, wodurch die Integrationsmöglichkeit im optischen Bereich stark erweitert werden kann.

Die Fig. 5A zeigt eine Draufsicht eines Aktors bzw. Sensors gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Fig. 5B zeigt einen Schnitt entlang der Linie A-B, während Fig. 5C einen Schnitt entlang der Linie C-D darstellt. Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung überlappen sich die Finger in y-Richtung nicht vollständig, wie es Fig. 5A deutlich zeigt. Durch eine entsprechende Federaufhängung 30 ermöglicht das Element gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel die Erzeugung bzw. Detektion in zwei Achsen, d. h. parallel zur z-Achse und zusätzlich parallel zur y-Achse. Dieser Sachverhalt ist in Fig. 6C dargestellt. Der bewegliche Finger 12b (aus Einfachheitsgründen ist nur einer gezeichnet) bewegt sich auf einer ellipsenförmigen Bahn bezüglich des festen Fingers 10b. Aus der ellipsenförmigen Bahn ergibt sich als Spezialfall zum einen ein Kreis in der yz-Ebene, wie es in Fig. 5C schematisch dargestellt ist, und zum anderen eine Gerade in der z-Richtung, wie es in Fig. 5B dargestellt ist und in Verbindung mit dem ersten Ausführungsbeispiel erläutert wurde.

Eine Kreisbewegung der beweglichen Elektrode bezüglich der festen Elektrode wird erreicht, wenn zumindest eine Kraft (in y- oder z-Richtung) wegbahngig ist. Allgemein gesagt wird die Kreisbewegung auftreten, wenn die Wegbahngängigkeit der Kräfte in den Richtungen y oder z unterschiedlich sind. Bei dem in Fig. 2B gezeigten Beispiel, bei dem die beiden Elektroden in z-Richtung überhaupt nicht ineinandergreifen, wird die elektrostatische Kraft zunächst klein sein. Dieselbe wird aber zunehmen, wenn ein Eintauchen der Kammfinger der beweglichen Elektrode zwischen die Kammfinger der festen Elektrode auftritt. Diese Kraft ist somit in z-Richtung wegbahngig.

Patentansprüche

1. Aktor mit folgenden Merkmalen:

einer ersten Kammelektrode (10) und einer bezüglich der ersten Kammelektrode (10) beweglich angeordneten zweiten Kammelektrode (12) mit Kammfingern (10b, 12b), wobei die Kammfinger (10b, 12b) der ersten (10) und der zweiten (12) Kammelektrode in einer ersten Richtung (x) nebeneinander angeordnet sind, parallel zu einer zweiten Richtung (y) zeigen und sich in einer Ebene erstrecken, die durch die zweite (y) und eine dritte (z) Richtung gebildet ist, wobei die erste (x), die zweite (y) und die dritte (z) Richtung zueinander im wesentlichen senkrecht sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammfinger (10b, 12b) der ersten und der zweiten Kammelektrode (10, 12) in der dritten Richtung (z) derart nicht vollständig überlappend angeordnet sind, daß durch Anlegen einer elektrischen Spannung (U) zwischen der ersten (10) und der zweiten (12) Kammelektrode eine Sollauslenkung der zweiten Kammelektrode (12) bezüglich der ersten Kammelektrode (10) parallel zu der dritten Richtung (z) erreichbar ist.

2. Sensor mit folgenden Merkmalen:

einer ersten Kammelektrode (10) und einer bezüglich der ersten Kammelektrode (10) beweglich angeordneten zweiten Kammelektrode (12) mit Kammfingern (10b, 12b), wobei die Kammfinger (10b, 12b) der er-

sten (10) und der zweiten (12) Kammelektrode in einer ersten Richtung (x) nebeneinander angeordnet sind, parallel zu einer zweiten Richtung (y) zeigen und sich in einer Ebene erstrecken, die durch die zweite (y) und eine dritte (z) Richtung gebildet ist, wobei die erste (x), die zweite (y) und die dritte (z) Richtung zueinander im wesentlichen senkrecht sind, dadurch gekennzeichnet, daß

die Kammfinger (10b, 12b) der ersten und der zweiten Kammelektrode (10, 12) in der dritten Richtung (z) derart nicht vollständig überlappend angeordnet sind, daß eine Sollauslenkung der zweiten Kammelektrode (12) bezüglich der ersten Kammelektrode (10) parallel zu der dritten Richtung (z) zu einer erwünschten Veränderung der Kapazität des elektrostatischen Sensors führt.

3. Aktor bzw. Sensor gemäß Anspruch 1 bzw. Anspruch 2, bei dem eine Ebene, die durch die erste (x) und die zweite (y) Richtung definiert ist, parallel zur Hauptoberfläche eines Substrates verläuft, in dem zumindest eine der beiden Kammelektroden (10, 12) ausgebildet ist.

4. Aktor bzw. Sensor nach einem entsprechenden der vorhergehenden Ansprüche, bei dem sich die Kammfinger (10b, 12b) der ersten und zweiten Kammelektrode (10, 12) in der dritten Richtung (z) teilweise überlappen.

5. Aktor bzw. Sensor gemäß einem entsprechenden der Ansprüche 1 bis 3, bei dem sich die Kammfinger (10b, 12b) der ersten und der zweiten Kammelektrode (10, 12) in der dritten Richtung (z) nicht überlappen.

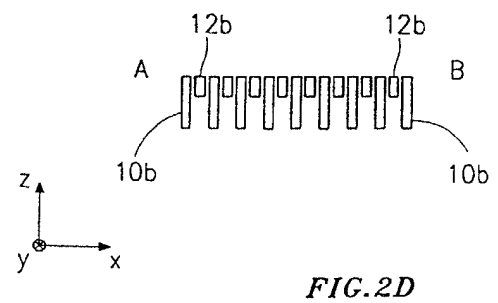
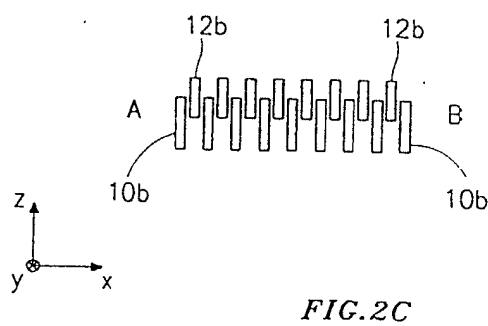
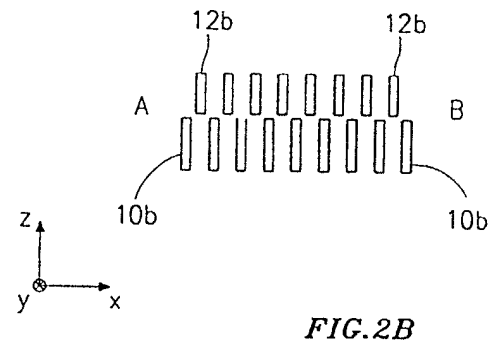
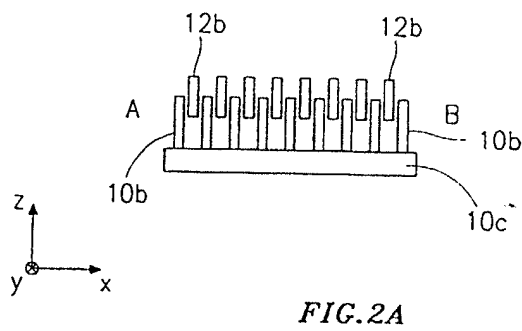
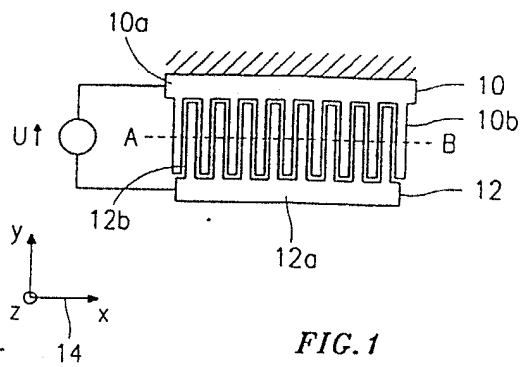
6. Aktor bzw. Sensor nach einem entsprechenden der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kammfinger der zweiten, beweglichen Kammelektrode (12) kürzer als die Kammfinger (10b) der ersten, festen Kammelektrode (10) sind, und umgekehrt.

7. Aktor bzw. Sensor nach einem entsprechenden der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kammfinger (10b) der ersten, festen Kammelektrode (10) sowohl in der Ebene, die durch die erste (x) und die zweite (y) Richtung definiert ist, als auch in einer Ebene, die durch die erste (x) und die dritte (z) Richtung definiert ist, gehalten werden.

8. Aktor bzw. Sensor nach einem entsprechenden der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kammfinger (12b) der zweiten Elektrode (12) in der dritten (z) Richtung kürzer als die Kammfinger (10b) der ersten Kammelektrode (10) dimensioniert sind, und wobei die Kammfinger (12b) der zweiten Kammelektrode (12) mit den Kammfingern (10b) der ersten Kammelektrode (10) vollständig überlappt sind und umgekehrt.

9. Aktor bzw. Sensor nach einem entsprechenden der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kammfinger (12b) der zweiten Kammelektrode (12) und die Kammfinger (10b) der ersten Kammelektrode (10) in der zweiten (y) Richtung im wesentlichen vollständig überlappend angeordnet sind, wodurch bei Anlegen einer Spannung an die Kammelektroden lediglich eine Sollauslenkung der zweiten Kammelektrode bezüglich der ersten Kammelektrode in der dritten Richtung (z) erreichbar ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen



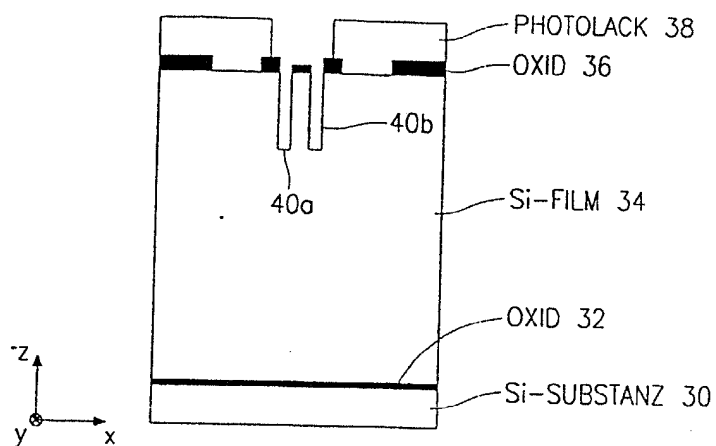


FIG. 3A

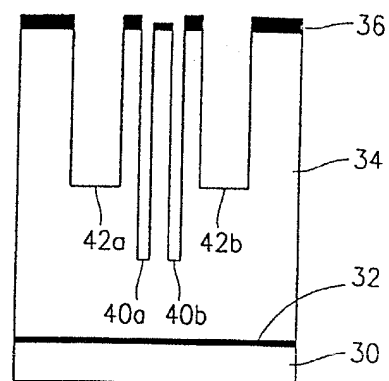


FIG. 3B

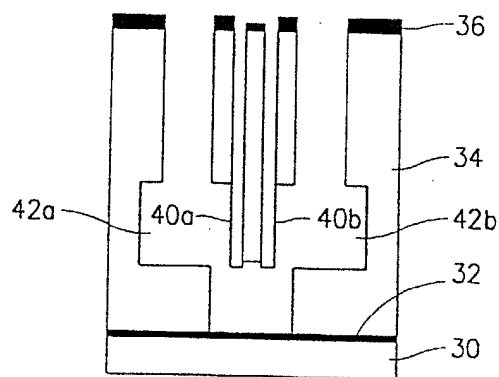


FIG. 3C

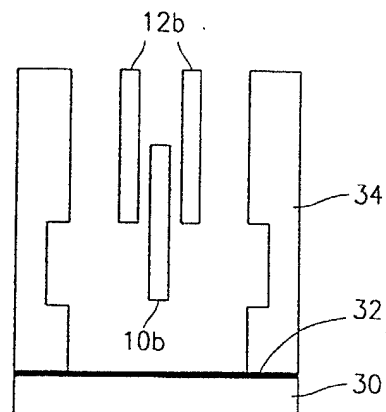


FIG. 3D

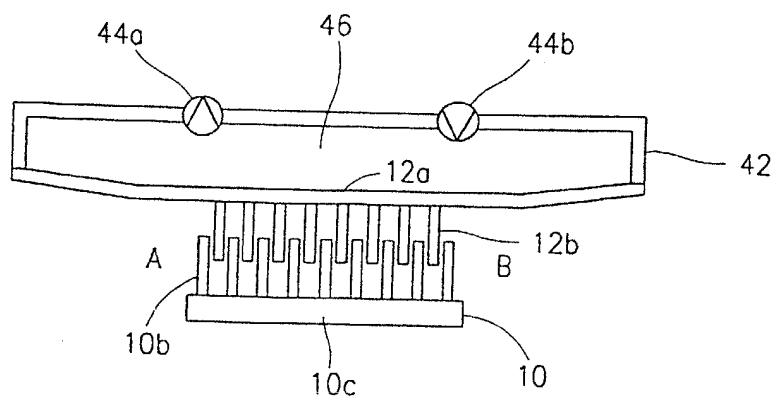
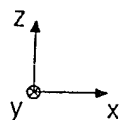


FIG. 4

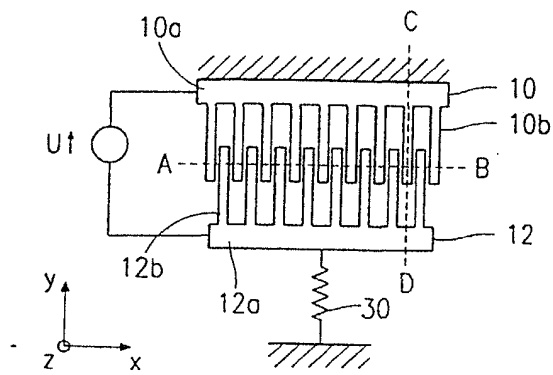


FIG. 5A

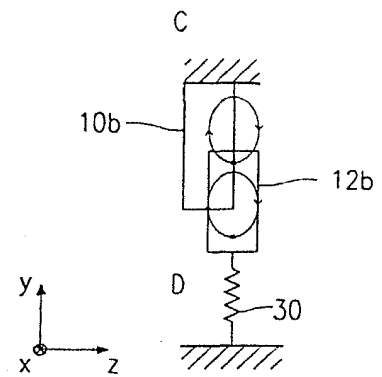


FIG. 5C

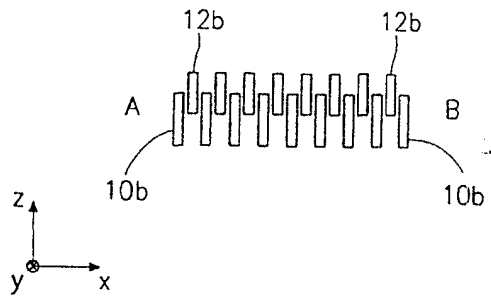


FIG. 5B

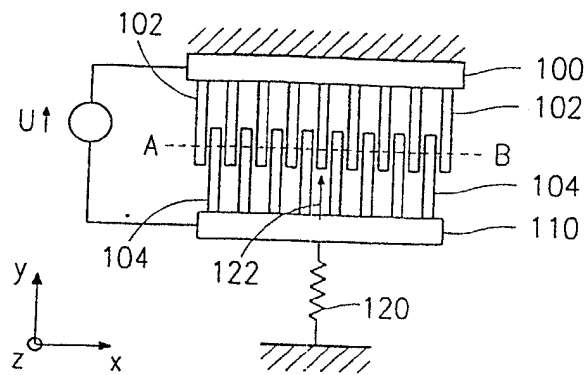


FIG. 6A (STAND DER TECHNIK)

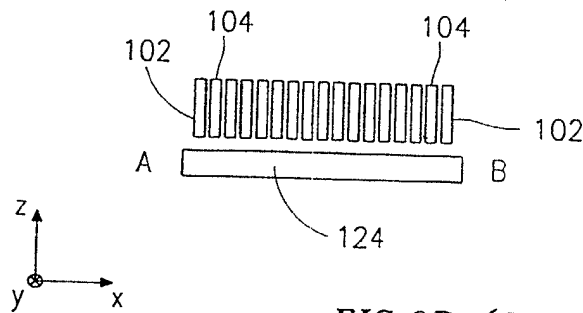


FIG. 6B (STAND DER TECHNIK)